昆虫学报 Acta Entomologica Sinica, August 2006, 49(4):619 – 624 ISSN 0454-6296

棉蚜迁飞型和居留型及其杂交后代飞行特性的比较研究

刘向东[1]，**翟保平**[1]，**梁圣爱**[1]，**许新华**[2]，**龚群辉**[2]

（1. 南京农业大学植物保护学院，南京 210095；2. 湖南省常德市武陵区蔬菜办公室，湖南常德 415003）

摘要：为了明确棉蚜种群飞行能力发生分化的遗传基础，本文对春季木槿上有翅棉蚜中的起飞个体和不起飞个体分别进行连续4代次和2代次的起飞特性选择。结果表明，棉蚜的起飞比率和起飞角度特性表现出了明显的选择响应，并筛选出了棉蚜的迁飞型（M）和居留型（S）。通过对棉蚜性蚜的诱导，摸索出了棉蚜性蚜交配及卵孵化的条件。对迁飞型（M）、居留型（S）、迁飞型和居留型的正反交后代（M♀×S♂，S♀×M♂）、夏季木槿上的滞留蚜（H）等5类棉蚜的起飞特性进行了比较研究。结果表明，迁飞型和居留型的正反交后代的起飞比率显著高于居留型，且稍高于迁飞型。迁飞型雌蚜与居留型雄蚜的杂交后代的起飞角度显著高于居留型和夏季木槿上的滞留蚜。居留型产生有翅蚜的比率低于迁飞型及其与居留型的正反交后代。棉蚜的起飞角度、起飞比率及有翅蚜产生能力表现出了较强的遗传效应。平均起飞时间虽然表现出迁飞型雌蚜与居留型雄蚜的杂交后代显著短于迁飞型雄蚜与居留型雌蚜的杂交后代及夏季木槿上的滞留蚜，但与迁飞型和居留型之间却无显著差异，表现出棉蚜起飞时间特性的遗传效应不明显。

关键词：棉蚜；有性世代；起飞角；起飞比率；选择响应；杂交遗传

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2006)04-0619-06

Migratory and sedentary strains of *Aphis gossypii* Glover and the flight characteristics of their hybridized offspring

LIU Xiang-Dong[1], ZHAI Bao-Ping[1], LIANG Sheng-Ai[1], XU Xin-Hua[2], GONG Qun-Hui[2] (1. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Vegetable office of Wuling District, Changde, Hunan 415003, China)

Abstract: In order to confirm the genetic background of the population differentiation in flight capacity of cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover, the selective tests for the taking-off behavior, sexual aphid inducement, and hybridized inheritance of taking-off characteristics were studied. The results showed that the selected response of the taking-off angle and taking-off rate were strong, and the migratory strain (M) with large taking-off angle and the sedentary strain (S) with high non-taking-off rate were screened through four and two successive selections, respectively. The conditions of sexuales producing, mating and egg hatching in the laboratory were found. The taking-off performances of the migratory strain (M), sedentary strain (S), hybridized offsprings of M and S (M♀×S♂, S♀×M♂), and the aphids stayed on the summer hibiscus tree (H) were compared. The results showed that the taking-off rates of the M, M♀×S♂ and S♀×M♂ were significantly higher than that of the S strain, and the taking-off angle of the M♀×S♂ was significantly larger than that of the S strain and the H aphids. The alate rate produced by the S was lower than those produced by the M, M♀×S♂ and S♀×M♂. These results indicated that the inheritance effect of the taking-off performance was strong. The time waiting for taking-off of M♀×S♂ was significant shorter than that of the M♂×S♀ offspring and H aphids, but there was no difference between the M strain and the S strain, indicating that the inheritance effect of the time waiting for taking-off was very weak.

Key words: *Aphis gossypii*; sexual generation; taking-off angle; taking-off rate; selected response; hybridized inheritance

---

基金项目：国家自然科学基金项目（30571222，30070127）；南京农业大学青年科技创新基金（KJ05004）项目

作者简介：刘向东，男，1970年生，湖南隆回人，博士，副教授，主要从事昆虫生态与种群遗传方面的研究，Tel.：025-84395242；E-mail：liuxd@njau.edu.cn

收稿日期 Received：2005-12-23；**接受日期** Accepted：2006-05-16

棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 具有明显的冬夏寄主转移习性。每年 4～5 月，在冬寄主上越冬的棉蚜则产生有翅蚜并开始大批向棉花等夏寄主上转移（Reynolds *et al*.，1999；邹运鼎等，1999；刘向东等，2003b）。然而，棉蚜从冬寄主向夏寄主迁飞结束后，常有极少部分个体仍居留在冬寄主上，形成不迁飞种群，它们的迁飞能力很可能较低。对春季迁飞阶段木槿上有翅蚜的卵巢解剖发现，此时同龄的有翅蚜存在卵巢发育进度不一致的现象（刘向东等，2003b）。同时研究表明，棉蚜的飞行行为与卵巢发育间存在明显的共轭关系，迁飞过程中的或起飞角度大的棉蚜其体内的卵巢小管较少，而不起飞或起飞角度较小的棉蚜卵巢小管较多（刘向东等，2003a），这反映出春季木槿上的棉蚜种群存在迁飞能力上的分化。

昆虫的迁飞特性往往由基因控制，通过连续多代的选择，则可得到相应的迁飞品系（Dingle，1997）。Palmer 和 Dingle（1989）对大马利筋长蝽 *Oncopeltus fasciatus* 翅长进行连续 13 代的选择，发现翅长的选择反应相当明显，并对长翅型和短翅型进行飞行测试，得出翅长与持续飞行时间呈正相关，选择两代后，种群中的迁飞型和滞留型个体则分化而出，表明遗传因子对飞行行为的影响起主导作用。豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 有翅蚜产生的广义遗传力在拥挤和自然状况下分别为 0.69 和 0.63，也表现出了强的遗传性（Wolfgang and Christian，2001）。但是由于蚜虫的个体小、容易受伤等原因，有关蚜虫飞行能力的测试还不多（程登发等，2002；刘向东等，2003b）。并且，利用微型吊飞装置测试完飞行能力的蚜虫很难从吊臂上脱离而继续饲养，因此，有关蚜虫飞行能力的遗传特性研究就更少。另外，蚜虫有性世代产生的条件较为苛刻，虽然少部分蚜虫有性世代的诱导条件已经明确（龚鹏和张孝羲，2001；杨效文和张孝羲，1999），但性蚜的交配及卵孵化条件尚不成熟，并且室内诱导出的性蚜及其所产卵量的有限，有关蚜虫飞行能力的杂交遗传研究则因此更为缺乏。

本研究采用起飞角度大小及起飞个体比率，对棉蚜的飞行能力进行定量刻画；对春季木槿上采集的有翅棉蚜依据飞行能力差异进行连续多代次选择，筛选出起飞角度大的迁飞型及不起飞比率高的居留型，并在室内进行两类型棉蚜的有性世代诱导和杂交试验，以期明确棉蚜飞行能力的分化程度及其遗传基础。

1 材料与方法

1.1 不同飞行能力品系的选择

春季棉蚜侨迁之前，在木槿树上随机选取有翅若蚜并连枝带回室内，用水培养木槿枝条，待有翅蚜羽化后，收集当天羽化成蚜，进行起飞行为测试。测试后将起飞个体（称为起飞系）和不起飞个体（称为不起飞系）分开饲养于苗期棉株上，作为以后起飞行为筛选的虫源。对起飞系进行连续多代次选择时，均只保留起飞的个体，而对不起飞系进行选择时则仅保留不起飞个体。上下两次筛选间隔的时间 20～40 天不等。每代次筛选出的种群均饲养在相同的条件下（26℃，L∶D＝10∶14）。经 4 次选择后，起飞系的起飞角显著升高并较为稳定，此时测定后保留的起飞个体则称为迁飞型（M）。而在不起飞系的选择中，经连续两代次的选择后，不起飞个体比率达到 95%，此时的不起飞个体组成居留型（S）。

1.2 迁飞型和居留型棉蚜有性世代的诱导与杂交验试

将选择出的迁飞型和居留型棉蚜的孤雌后代分别转到具 8 片以上叶的棉株上，在光照培养箱内用低温（12℃，16℃ 恒温，光期 18℃ 暗期 12℃ 变温）和短光照（L∶D＝8∶16）进行有性世代的诱导。诱导过程中每天观察被诱蚜的产仔与存活情况，并记录性蚜出现的时间及数量。雄性蚜出现后，立即转接到新棉株上，等待或直接与雌性蚜配对。杂交试验分正交（M♀×S♂，18 对）和反交（S♀×M♂，23 对）在棉株上进行，交配场所光照 10L∶14D，温度 20℃。交配后的雌性蚜在行交配的棉株上产卵，每天记录产卵量。卵孵化后的杂交后代及其亲本均在相同条件（26℃，L∶D＝10∶14）下饲养。

1.3 卵孵化条件的确定

基本模拟外界条件，采用先降温再升温、光周期由长变短再变长的程序以保证卵的正常孵化。温光变化程序为：当性蚜产卵量不再增加时，卵粒所处温度从 20℃起，每 3～5 天降 2℃。当温度降至 6℃时，将每日光照时数降为 8 h，同时将暗期温度变为 4℃。然后再以 3～5 天升高 2℃的幅度进行升温，一直升至光期 24℃、暗期 22℃止，接着保持 22 天后喷水一次，卵约在 90 天后成功孵化。在卵期的升温阶段，当光期温度升至 8℃、14℃和 20℃时，分别将每日光照时数延长至 10 h、12 h 和 14 h。在卵的保持过程中，棉株始终处于活体状态。试验过程中如果

发生着有卵粒的叶片脱落，则用双面胶将落叶上有卵的部分粘于植株上。整个卵孵过程中每 2～3 天检查一次卵的发育情况，直到卵粒孵化。试验共观察了 40 粒卵的孵化情况。

1.4　棉蚜起飞特性的测定方法

采用刘向东等（2003a）方法对棉蚜进行起飞行为的测试。测试时用毛笔把待测有翅蚜 10 头为一组挑放到起飞测试装置中，并开始计时进行测试。连续观察 15 min 内棉蚜的起飞情况，测定出起飞个体的飞行高度、起飞个体数量及起飞发生的时间。依飞行高度，参考刘向东等（2003a）方法计算起飞角度。从起飞测试开始到蚜虫起飞止的历时记为棉蚜准备起飞的时间（简称为起飞时间）。每批测试个体中起飞个体所占的比例称为起飞比率。每种类型棉蚜的每代次起飞测试均重复 6 批次共计 60 头以上。

1.5　有翅蚜出现比率的测定

选取室内筛选出的迁飞型（M）、居留型（S）、迁飞型和居留型的正反交后代（M♀×S♂，S♀×M♂）、木槿上夏季滞留蚜（H）等 5 类无翅孤雌成蚜各 20 头，转接于同期栽培且长势相同的 6 叶苗期棉株上，用塑料罩将棉株罩严，在室温条件下进行不同类型棉蚜有翅蚜出现比率的观察。在该室温条件下棉蚜从出生到开始产生子蚜约需 5～7 天。在接虫后的 15、18 和 21 天分别调查总蚜量及有翅蚜数量，得到不同时间有翅蚜产生比率。每种类型的棉蚜重复 3 次。

1.6　数据统计处理方法

性蚜出现时间、起飞比率、起飞时间及起飞比率等指标，在不同处理、不同选择代次及不同品系间的差异显著性分析，均采用 Duncan 's 新复极差法（$P = 0.05$）。统计分析在 SAS 软件中完成。数据均为平均数 ± 标准误（mean ± *SE*）。

2　结果与分析

2.1　迁飞型和居留型棉蚜的筛选

连续多代起飞选择结果表明，起飞系中起飞个体的平均起飞角度随着选择代次的增加显著增大（图 1：A），而不起飞系中的不起飞个体的比率也随选择代次的增加而明显提高（图 1：B）。起飞角和起飞比率存在明显的选择效应。起飞系经 2～4 次起飞选择后，起飞角显著大于其母代及第一次选择的个体，并且变化较为平缓，因此，经 4 次选择后的起飞个体可称为迁飞型（M）。不起飞系的不起飞比率在两次选择后的滞留率达到 95% 以上，而被称为居留型（S）。这两类型的棉蚜被独立饲养于棉株上，供性蚜诱导和杂交试验用。

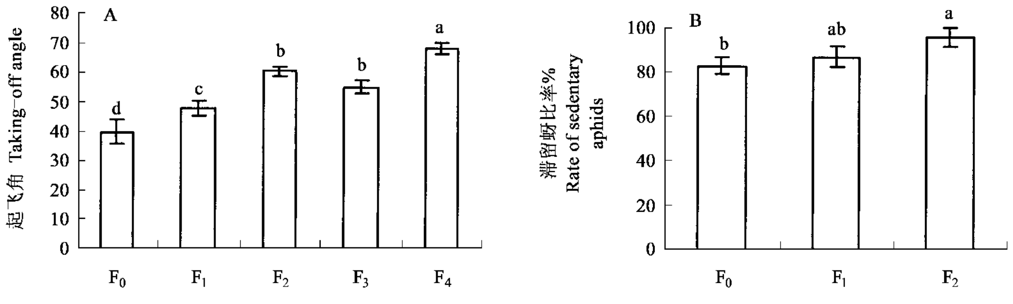

图 1　棉蚜起飞特性的选择反应

Fig. 1　The selection response of cotton aphid in taking-off performance

A：起飞系 Taking-off strain；B：不起飞系 Non-taking-off strain. 柱上不同字母表示差异显著 Bars with different letters show significant difference（Duncan 's test，$P \leq 0.05$）；下图同 The same for the following figures.

2.2　棉蚜有性世代交配产卵及卵孵化条件

光周期 8L∶16D，温度光期 18℃暗期 12℃条件下，在棉株上诱导出了棉蚜的雄性蚜和雌性蚜，并且性蚜出现的时间较早，均在 15 天左右出现。而在 12℃的恒温下，诱导 47 天内仅在 25 天后出现了雄性蚜，而没有雌性蚜出现，且雄性蚜出现的时间显著迟于光期 18℃暗期 12℃的变温处理（$F = 14.143$，$P = 0.0198$，表 1）。同样光周期的 16℃恒温条件下也分别在 26 和 27 天诱导出了雄性蚜和雌性蚜，可惜由于培养箱出现故障，而没有重复，无法与其它处理进行性蚜出现时间迟早的比较。在光照 10L∶14D 和 20℃恒温条件下，棉蚜性蚜能正常交配并在棉株上产下有效卵。

卵在温度由高到低再到高、光照由长变短再变长的条件下，经过 90 天后可正常孵化。

2.3　迁飞型与居留型棉蚜及其杂交后代的起飞特性

2.3.1　杂交后代的起飞比率：由图 2 可知，迁飞型

(M)和居留型(S)的正交与反交后代的起飞比率与孤雌生殖的迁飞型蚜(M)无显著差异,但显著高于孤雌生殖的居留型蚜(S)。由此说明,棉蚜个体的起飞比率特性有其遗传基础,并且能通过雌性蚜和雄性蚜遗传给后代。夏季木槿上的棉蚜(H)在室内棉花上饲养后的起飞比率与居留型蚜无显著差异,但低于迁飞型,且显著低于迁飞型和居留型的杂交后代(图 2)。

表 1 不同温度下棉蚜性蚜诱导出现所需的天数(光照周期 8L∶16D)

Table 1 Time needed for the induced occurrence of sexuales at different temperatures (8L∶16D)

温度(℃) Temperature	出现时间 Occurrence time after treatment (d)	
	雄性成蚜 Male sexual aphid	雌性成蚜 Female sexual aphid
18L∶12D	14.33 ± 2.33 aB	16.60 ± 3.31 a
16L∶16D	26	27
12L∶12D	25.33 ± 1.76 A	诱导 47 天内没出现 No occurrence in 47 days of treatment

同行数据后标有不同小写字母和同列数据后标有不同大写字母示表示差异显著(Duncan's test, $P \leqslant 0.05$)。Data in the same row followed by different small letters and those in the same column followed by different capital letters are significantly different by Duncan's test at $P \leqslant 0.05$ level. 下表同 The same for the following tables.

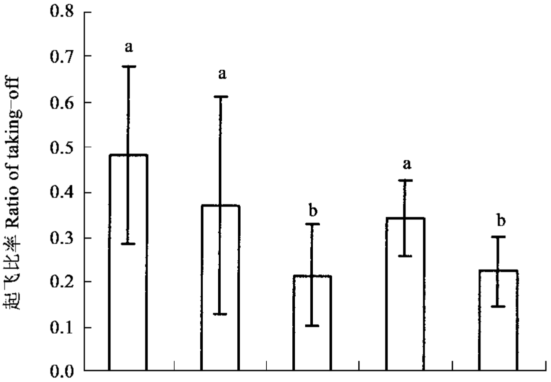

图 2 不同棉蚜品系的起飞比率

Fig. 2 Taking-off rate of the different cotton aphid strains' offspring

S:居留型 Sedentary strain; M:迁飞型 Migratory strain; H:木槿上的滞留蚜 Aphids stayed on the summer hibiscus tree. 下同 The same below.

2.3.2 **杂交后代的起飞时间**:对不同棉蚜品系起飞个体的起飞前停留时间进行测定,结果表明,迁飞型雌蚜与居留型雄蚜的杂交后代(M♀ × S♂)的平均起飞时间明显短于迁飞型雄蚜与居留型雌蚜的杂交后代(S♀ × M♂)及夏季滞留木槿上的棉蚜(H),但是与其亲本及两亲本间的差异并不显著(图 3)。由此说明,棉蚜起飞时间特性的遗传效应较小,各类型棉蚜间表现出的差异很可能由外界因子所引起。

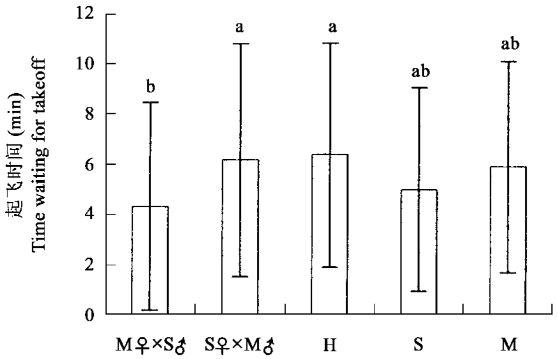

图 3 不同棉蚜品系孤雌后代的起飞时间

Fig. 3 Time waiting for taking-off of the different cotton aphid strains' offspring

2.3.3 **杂交后代的起飞角**:对羽化后一日龄棉蚜的起飞角测定结果表明(表 2),迁飞型与居留型的正反交后代的起飞角度都显著大于夏季木槿上的棉蚜,并且迁飞型和居留型的正反交后代的起飞角与迁飞型蚜无显著差异,但要高于或显著高于居留型蚜,表现出了棉蚜的起飞角度存在明显的遗传效应。

表 2 不同棉蚜品系孤雌后代的起飞角度

Table 2 Taking-off angle of the different cotton aphid strains' offspring

品系 Strains	样本数 Number	起飞角度 Taking-off angle
M♀ × S♂	53	61.47 ± 19.92 a
S♀ × M♂	63	56.27 ± 19.94 ab
M	43	54.44 ± 19.19 abc
S	59	50.56 ± 16.81 bc
H	59	48.41 ± 16.36 c

2.3.4 **杂交后代有翅蚜产生比率**:由不同品系棉蚜的有翅蚜产生比率可知(表 3),饲养 15 天时 5 类棉蚜品系产生有翅蚜的数量均较低,并且居留型棉蚜种群没有有翅蚜产生;饲养 18 天,迁飞型与居留型正反交后代及迁飞型亲本的有翅蚜产生比率高于或显著高于居留型蚜或木槿上滞留蚜;饲养 21 天,迁飞型、居留型和夏季木槿上的滞留蚜比例无显著差,但低于或明显低于迁飞型与居留型的正反交后代,表现出在同等条件下杂交后代更易产生有翅蚜。各类型棉蚜有翅蚜比率的差异在不同饲养时间表现出不同规律,这可能是种群密度的影响所致,因为,18 天和 21 天时棉蚜种群至少存在 2 ~ 3 代的世代重叠,而无翅蚜比率高的类型会因繁殖力强而变得拥挤,刺激有翅蚜的产生,迁飞型和居留型在有翅蚜产生能力上的差异因此而被掩盖。

表3　不同棉蚜品系在不同饲养时间的累积有翅蚜比率（%）

Table 3　Accumulative ratio（%）of alate cotton aphid at different rearing time

品系 Strains	饲养时间 Rearing time（d）		
	15	18	21
M♀×S♂	0.97±0.23 ab	8.73±4.23 a	14.45±6.05 ab
S♀×M♂	1.80±0.89 a	6.52±3.90 ab	15.68±5.85 a
M	1.56±0.80 a	7.06±4.81 ab	7.21±0.42 bc
S	0.00±0.00 b	1.21±1.33 b	2.00±2.65 c
H	1.37±0.46 a	5.40±1.53 b	5.92±1.99 c

3　讨论

棉蚜性蚜的诱导低温和短光照条件前人已有研究，并且获得过性蚜（龚鹏和张孝羲，2001），但是性蚜的交配产卵及卵孵化条件尚无研究。本研究表明棉蚜在20℃下交配产下的卵，在温度先降后升、光照时间先短后长，并经过一次喷水后即可成功孵化。同时，在有性世代诱导过程中，发现棉蚜雄性蚜出现的时间要比雌性蚜早，并且在数量上并不比雌性蚜少，这与龚鹏和张孝羲（2001）研究结果稍有不同，分析其原因主要是龚鹏和张孝羲（2001）在诱导的第2代中去除了无翅蚜，而产生雄性蚜的性母也可为无翅蚜，由此其研究结果中的雄蚜仅由极少量的有翅胎生孤雌蚜产生（丁锦华和傅强，1995），所以出现了雄性蚜产生的时间较迟且数量较少的结果。但本研究没有去除任何无翅型，雄蚜和雌性蚜产生的机会均等，因此结果与以前的相比更能反映实际情况。

实验结果还表明，棉蚜迁飞型和居留型的杂交后代在迁飞特性上表现为，种群的起飞比率杂交后代明显高于居留型种群，且稍高于迁飞型种群。杂交后代的起飞角度（迁飞势能）高于居留型和夏季木槿上的棉蚜，如果将不起飞个体以起飞角度为0看待，则杂交后代及迁飞型的起飞角度均显著的大于居留型和木槿上的滞留蚜，说明棉蚜起飞特性确实具有较强的遗传效应，起飞行为及角度大小可作为表征棉蚜种群迁飞能力的指标。该类指标与吊飞选择相比，具有操作简单、不伤虫体、测试后的虫体很容易建立种群进行继代选择试验等优点。平均起飞时间虽然表现出迁飞型雌蚜与居留型雄蚜的杂交后代显著短于迁飞型雄虫与居留型雌虫的杂交后代及夏季木槿上的棉蚜，但亲本间的差异不显著，说明该特性的遗传效应较小，在种群迁飞能力筛选中不宜作为选择指标。同时，以往的研究也表明，影响蚜虫起飞时间的因子较多，如光照强度、温度、种群密度等（Dixon，1998），这也说明起飞时间受遗传因子调控的程度较低。另外，翅的发育是蚜虫迁飞的前提条件，有翅蚜的产生预示着种群即将迁移。有翅蚜的产生受种群本身及外界环境条件的影响，如温度、光周期、寄主营养、种群拥挤度及天敌等因子（Hardie，1987；吕利华和陈瑞鹿，1993；Müller *et al*.，2001；岳碧松等，2002）。本研究表明，迁飞型棉蚜及其与居留型的杂交后代在同等条件下产生有翅蚜的能力高于居留型棉蚜或夏季木槿上的滞留棉蚜。这说明棉蚜产生有翅蚜的能力也有一定的遗传基础，并且调控迁飞型和产生翅的基因很可能存在关联性。因此，结合有翅蚜的产生、起飞行为的发生、起飞比率和起飞角度的大小，则可很好地判断棉蚜种群的飞行能力，筛选出种群中的迁飞型个体。

在相同条件下，居留型棉蚜产生有翅蚜的比率低于或显著低于杂交后代和迁飞型蚜，表现出棉蚜的起飞特性与翅型分化间可能存在一定的遗传相关性。褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 翅型分化的筛选表明，经过一定代次的选择，长翅与短翅型可稳定在80%以上不变，并且短翅与短翅、短翅雌虫与长翅雄虫间交配后代中有98%和92%的个体属短翅型（王群等，1997），表现出褐飞虱翅型分化存在一定的母性遗传效应。豌豆象 *Callosobruchus maculatus* 种群也可选择出迁飞型（M）和大体不迁飞型（L），不同型间杂交后代的迁飞比率表现为 M×M > M×L > L×M > L×L，并且不迁飞型之间的交配产下的后代均没有迁飞个体产生（Wolfgang and Christian，2001），在迁飞特性上表现出了强的遗传性，并且也有一定的母体遗传效应。本研究中棉蚜的起飞特性也表现出迁飞型与居留型的正交后代 F_1（M♀×S♂）在起飞比率和起飞角度上要略高于反交后代 F_1（M♂×S♀），且起飞时间要短于反交后代，表现出了一定的母系遗传效应，但是这些差异并没有达到显著水平，因此母体遗传效应并不象褐飞虱、豌豆象那样明显。由于蚜虫的染色体为全着丝点染色体，并且易发生变异（Bizzaro *et al*.，2000；Wilson *et al*.，2002），而染色体的变异很可能导致控制飞行特性基因的重

组，从而改变飞行能力。本研究中起飞特性的母体效应不强的原因可能与部分个体发生染色体变异有关，不过这还需进一步的研究。

参考文献（References）

Bizzaro D，Mandrioli M，Zanotti MG，Manicardi GC，2000. Chromosome analysis and molecular characterization of highly repeated DNAs in the aphid *Acyrthosiphon pisum*（Aphididae，Hemiptera）. *Genetica*，108：197 – 202.

Cheng DF，Tian Z，Li HM，Sun JR，Chen JL，2002. Influence of temperature and humidity on the flight capacity of *Sitobion avenae*. *Acta Entomol. Sin.*，45(1)：80 – 85. ［程登发，田喆，李红梅，孙京瑞，陈巨莲，2002. 温度和湿度对麦长管蚜飞行能力的影响. 昆虫学报，45(1)：80 – 85］

Ding JH，Fu Q，1995. Observation of sexual generation in cotton aphids. *Entomological Knowledge*，32(3)：141 – 143. ［丁锦华，傅强，1995. 棉蚜有性世代的观察. 昆虫知识，32(3)：141 – 143］

Dingle H，1997. Migration：the Biology of Life on the Move. Oxford：Oxford University Press. 353 – 381.

Dixon AFG，1998. Aphid Ecology（2nd ed.）. London：Chapman & Hall. 172 – 175.

Gong P，Zhang XX，2001. The inducement of temperature and photoperiod to produce sexuales of cotton aphis *Aphis gosspii* Glover. *Acta Phytophylacica Sinica*，28(4)：318 – 324. ［龚鹏，张孝羲，2001. 温度和光周期对棉蚜性蚜产生的诱导. 植物保护学报，28(4)：318 – 324］

Hardie J，1987. The photoperiodic control of wing development in the black bean aphid，*Aphis fabae*. *J. Insect Physiol.*，33：543 – 549.

Liu XD，Zhai BP，Zhang XX，Xiong F，2003a. The relationship between flight behavior and ovary development in the cotton aphid，*Aphis gossypii*. *Entomological Knowledge*，40(1)：39 – 42. ［刘向东，翟保平，张孝羲，熊风，2003a. 棉蚜飞行行为与卵巢发育的关系. 昆虫知识，40(1)：39 – 42］

Liu XD，Zhang XX，Zhai BP，2003b. Flight activity rhythm of the cotton aphid，*Aphis gossypii* Glover in Nanjing and its flight capacity. *Acta Entomol. Sin.*，46(4)：489 – 493. ［刘向东，张孝羲，翟保平，2003b. 南京地区棉蚜的飞行活动节律及其飞行能力. 昆虫学报，46(4)：489 – 493］

Lu LH，Chen RL，1993. Study on the production of alatae in soybean aphid，*Aphis glycines*. *Acta Entomol. Sin.*，36(2)：143 – 149. ［吕利华，陈瑞鹿，1993. 大豆蚜有翅蚜产生的原因. 昆虫学报，36(2)：143 – 149］

Müller C，Willianms I，Hardie J，2001. The role of nutrition，crowding and interspecific interactions in the development of winged aphids. *Ecol. Entomol.*，26：330 – 340.

Palmer JO，Dingle H，1989. Responses of selection on flight behaviour in a migratory population of milkweed bug（*Oncopeltus fasciatus*）. *Evolution*，43(8)：1 805 – 1 808.

Reynolds DR，Mukhopadhyay S，Riley JR，Das BK，Nath PS，Mandal SK，1999. Seasonal variation in the windborne movement of insect pests over northeast India. *International Journal of Pest Management*，45(3)：195 – 205.

Wang Q，Du JG，Cheng XN，1997. Genetic studies on wing dimorphism of brown planthopper，*Nilaparvata lugens*（Homoptera：Delphacidae）. *Acta Entomol. Sin.*，40(4)：343 – 348. ［王群，杜建光，程遐年，1997. 褐飞虱翅型分化遗传规律的研究. 昆虫学报，40(4)：343 – 348］

Wilson ACC，Sunnucks P，Blackman RL，Hales DF，2002. Microsatellite variation in cyclically parthenogenetic populations of *Myzus persicae* in south-eastern Australia. *Heredity*，88(4)：258 – 266.

Wolfgang WW，Christian B，2001. Body colour and genetic variation in winged morph production in the pea aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata*，99：217 – 223.

Yang XW，Zhang XX，1999. Production of sexual morph of *Myzus persicae*（Sulzer）in relation to photoperiod and temperature. *Entomological Knowledge*，36(5)：272 – 274. ［杨效文，张孝羲，1999. 温度和光周期对烟蚜性蚜的诱导. 昆虫知识，36(5)：272 – 274］

Yue BS，Zou FD，Sun QZ，2002. The occurrence of alate turnip aphid *Lipaphis ervsimi*（Homoptera：Aphididae）and its development and reproduction. *Journal of Southwest Agricultural University*，24(1)：17 – 20. ［岳碧松，邹方东，孙奇志，2002. 有翅型萝卜蚜的产生及其生长繁殖研究. 西南农业大学学报，24(1)：17 – 20］

Zou YD，Zhou XZ，Li GT，Liu TW，1999. Diffusion and migration dynamics of *Aphis gossypii* on *Hibiscus syriacus* plants. *Chinese Journal of Applied Ecology*，10(6)：600 – 702. ［邹运鼎，周夏芝，李桂亭，刘同文，1999. 棉蚜在木槿上的扩散迁飞动态. 应用生态学报，10(6)：699 – 702］

（责任编辑：袁德成）